

〔駒沢女子短期大学 研究紀要 第20号 P. 1~15 1987〕

絶食によるコイ体中のカリウムとナトリウム量の変化

舟 木 行 雄

Changes in Amount of Potassium and Sodium in Starving Carp *Cyprinus carpio* Linnaeus

Yukio Funaki

緒 言

魚類は主として無機電解質水溶液〔浸透圧濃度 (mOsm) : 淡水=0.1~1.0, 淡水魚血液=300, 海水=1000, 海水魚血液=400〕を環境水として生活していて、鰓によって環境水から電解質の吸収をおこなっている^{1), 2), 3), 4), 5), 6)}。

したがって、食物や環境水中の電解質の種類と濃度は魚体に大きな影響をおよぼしているの、魚類の絶食生活は陸棲動物の絶食生活と意味が異なる。

魚類の絶食と電解質に関する報告は比較的少ない^{7), 8), 9), 10)}。

著者は先に、飼料や環境水中の電解質が魚体におよぼす影響について、2, 3の報告をした^{11), 12), 13)}。

本研究は、ヤマトコイ *Cyprinus carpio* Linnaeus (以下コイ) を種々の条件下で絶食生活させたら、コイ体中のカリウム (K) とナトリウム (Na) の量と濃度にどのような変化が起るかを知るために次の実験 I~IV をおこなった。

すなわち、

実験 I : K と Na 量の異なる 3 種の飼料を調製し、3 群の魚体にそれぞれの飼料を一定量、一定期間給餌した後、絶食させ、飼料中の K と Na 量の影響を比較した。

実験 II : 市販の飼料を一定量、一定期間給餌した後、K と Na 濃度の異なる 3 種の環境水中で絶食させ、環境水中の K と Na 濃度の影響を比較した。

実験 III : 市販の飼料を一定量、一定期間給餌した後、同一環境水 (水道水) 中で絶食させた魚体と、給餌量を異にして生活させた魚体を比較した。

実験 IV : 市販の飼料を一定量、一定期間給餌した後、絶食させ、絶食期間中、一定日数の間隔で 1 部の魚体に給餌し、絶食続行魚体と給餌魚体を比較した。

以上、4 種の実験結果を比較検討したので報告する。

実 験

実験 I

飼料調製 : 著者が 1977 年の報告に示した飼料と同一組成に調製した¹²⁾。

すなわち、3 種の飼料中の K と Na の重量比 (K/Na 値) が、それぞれ 0.6, 1.8 および 3.7 になるようにするため、植物性蛋白 (フジ精油 K・K 製, フジプロ) の K 塩と Na 塩および無機塩混合としてマツカラム塩混合 No. 185¹⁴⁾ と同塩の K を Na に置きかえて調整して調製した。

表 I-1 に飼料組成を示す。

供試魚および試験法 : 体重 7.5~9.5 g のヤマトコイ (長野県上田産, 同腹, 当才) を 300 尾入手し、ガラス水槽 (90×45×45 cm) 2 個に、それぞれ環境水 (東京都水道水を 48 時間以上貯蔵して自然脱塩素した。以下、実験 IV まで同様) を 150 l 入れて、通気しつつ温度調節ヒーターで 26℃ を保っている中に 150 尾ずつ放ち、6 日間放置訓練した。

表 I-1 飼 料 組 成 (%)

	A 区	B 区	C 区
植物性蛋白 K	—	14	28
Na	28	14	—
脱脂魚粉	33	33	33
液化蛋白	9.3	9.3	9.3
ビタミン混合	1.8	1.8	1.8
α・スターチ	18.6	18.6	18.6
※無機塩混合	2.8	2.8	2.8
フィードオイル	6.5	6.5	6.5
K (mg%)	487.1	1000.0	1362.5
Na (mg%)	768.2	556.4	364.1
K/Na (w/w)	0.60	1.80	3.70

※ B 区はマツカラム塩 No. 185, A 区は同塩の K を Na に、C 区は Na を K に置きかえた。

あらかじめ準備しておいた3個(A区, B区およびC区用)の塩化ビニル製水槽(51×36×30 cm)にそれぞれ環境水を40ℓずつ入れ, 通気し, 26℃に保った中に平均体重 8.5 ± 0.4 gのコイを40尾ずつ放ち, A区には $K/Na=0.6$, B区には1.8およびC区には3.7の飼料を1日当り, 体重の3%を2回に分けて20日間給餌した。

給餌法は, 所定量の粉末飼料に脱イオン水を加えて練り, コイが食いちぎらないで一口で摂餌できる大きさにして給餌した。

給餌期間は毎日一定時刻に新しい環境水と交換した(以下, 実験Ⅳまで同様)。

給餌期間終了後, 消化管内の飼料の影響をなくするため, 2日間放置(以下, 実験Ⅳまで同様)して絶食開始時とし, 各区から5尾採取して絶食開始時の分析試料とした。

体重測定と試料採取時には, MS 222(三共株式会社製, 冷血動物用麻酔剤)の1/5000%濃度水溶液に魚体を浸して麻酔をした(以下, 実験Ⅳまで同様)。

絶食試験期間は, 魚体が飢餓状態で何日間生存できるか未知なので, 餓死魚の出現状況から, 結果的には105日の絶食試験となった。

絶食試験中は, 環境水を隔日に交換した(以下, 実験Ⅳまで同様)。

分析に供する魚体は, 絶食開始時から30日ごとに各区とも5尾ずつ採取した。ただし, 最終採取時は前採取時から15日目とした。

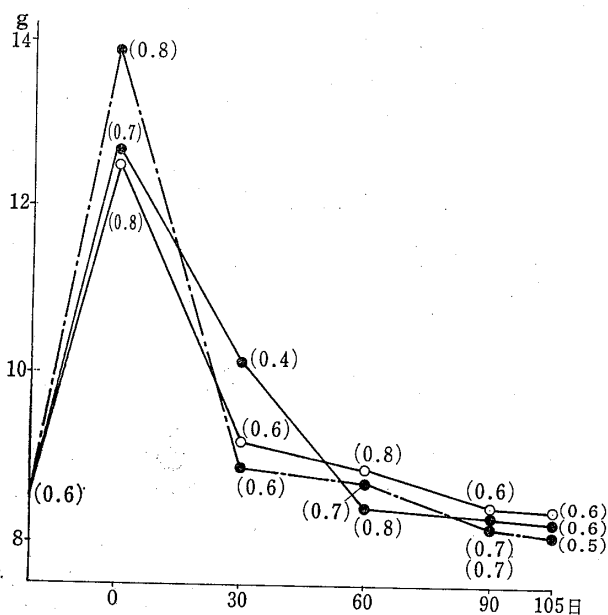


図 I-1 給餌と絶食による魚体重量変化
●: A区, ---●: B区, —○: C区,
(): \pm S.D. $n=5$

分析法: 採取した魚体は麻酔し, 魚体の表面を脱イオン水で洗浄し, ペーパータオルで体表面の水を拭い, 体重を測定した後, 1尾ずつ硝酸一過塩素酸による湿式灰化¹⁵⁾をおこない, 炎光光度計(東京光電K.K製, ANA 10ALでKとNaを分析した(以下, 実験Ⅳまで同様)。

また, 餓死魚も出現のつど同様の方法で分析した。

結果

体重: 体重の変化を図 I-1 に示す。

20日間の給餌により, B区>A区>C区の順に増加した。

絶食による減少は, 30日までは急速に, その後は緩やかであった。

KとNa量: 生存魚体中のKとNa量変化を図 I-2 に示す。

各区とも20日間の給餌により, KとNaは増加し, $K > Na$ を保っていたが, 絶食の進行にともなってK量は減少し, Na量は増加していった。しかし, 絶食90~

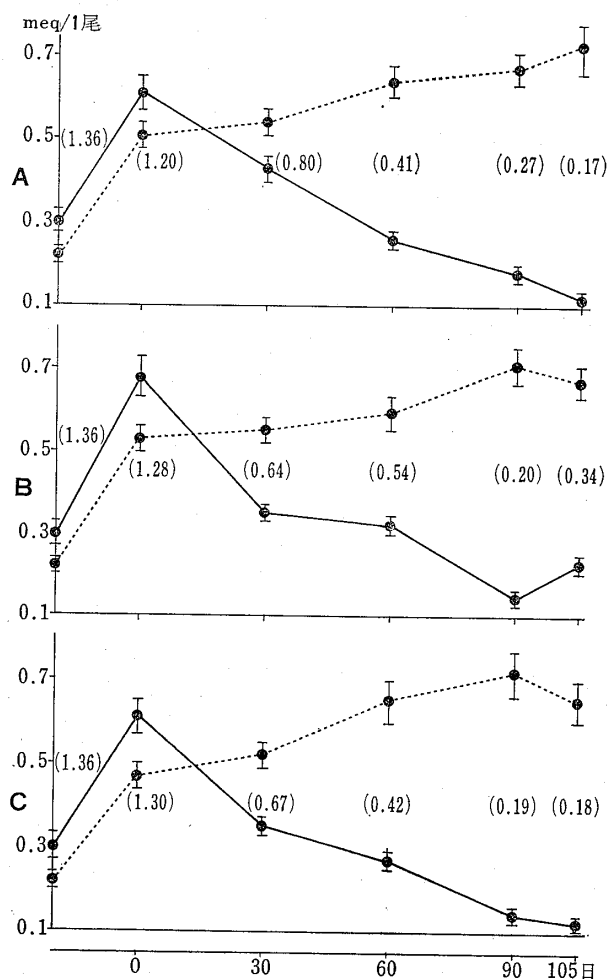


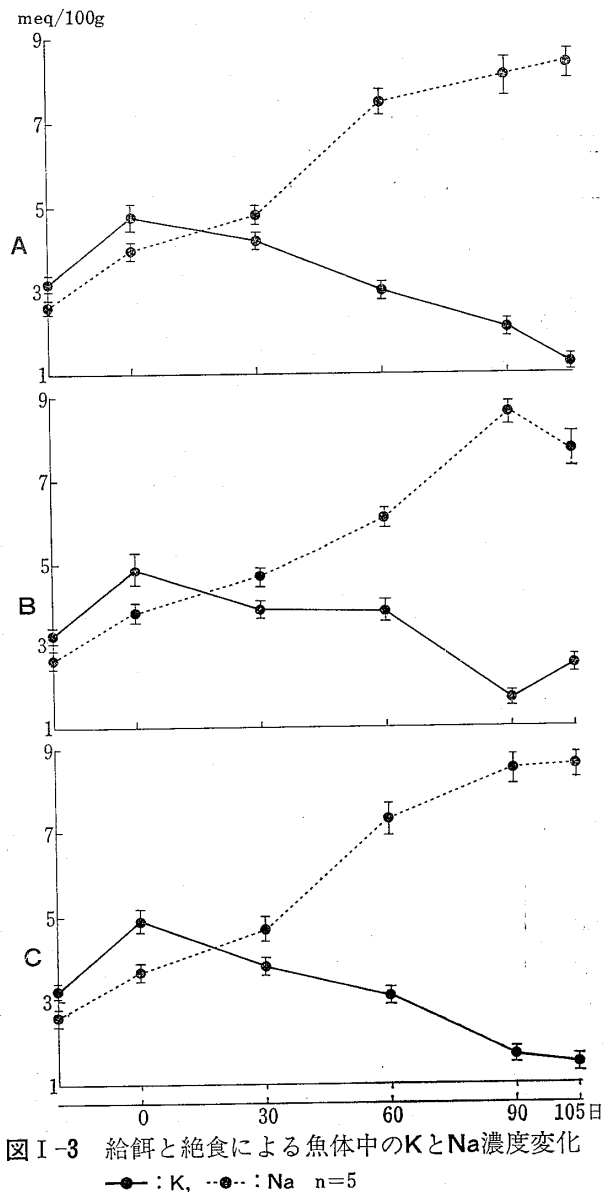
図 I-2 給餌と絶食による魚体中のKとNa量変化
●: K, ---●: Na $n=5$
(): K/Na

105日には、A区のK量は減少、Na量は増加、B区のK量は増加、Na量は減少、C区のK量は減少、Na量も減少と、各区に特徴がみられた。

魚体中のKとNa濃度変化を図I-3に示す。

KとNa濃度変化は、図I-2に示したKとNa量の増減と、図I-1に示した体重の増減によって変化する。特に変化の大きかった点は、C区のNa濃度が絶食90～150日において量としては減少しているが濃度としては高くなったことである。

K/Na値：図I-2に示すように、B区の105日を除いては各区とも絶食の進行にともなって低下した。K/Na=1.00になる日数は各区とも絶食開始時から約13日であった。



図I-3 給餌と絶食による魚体中のKとNa濃度変化
● : K, ○ : Na n=5

餓死魚：出現状況、体重およびKとNa量を表I-2に示す。

出現尾数は、A区が8尾、B区が2尾およびC区が9尾であった。

体重は絶食開始時点の1/2に達する魚体が多かった。

K量は極度に少ないが、Na量は絶食中期の生存魚と大差がなかった。したがって、K/Na値は非常に低く、0.09～0.16の範囲であった。

実験II

供試魚：平均体重22.4±1.8gのヤマトコイ（長野県、上田産、同腹）300尾を入手し、ガラス水槽（90×45×45cm）3個にそれぞれ水道水150lを入れ、通気しつつ、28℃に保った中に100尾ずつ放ち、7日間訓練した後、1日当たり体重の3%を2回に分けて6週間給餌（日本配合飼料K.K製、コイ用6P）した。

給餌期間終了後、総魚体重を測定し、その中から10尾を採取して絶食開始時の分析試料とした。

試験方法：あらかじめ準備してあるガラス水槽（60×30×36cm）3個（D区、E区、F区用）に、D区として水道水（K：0.05 meq/l, Na：0.70 meq/l, K/Na：0.07）E区として水道水にKClを加えてK/Na（meq/meq）=1.0にした環境水およびF区として同様にK/Na=10.0にした環境水を50lずつ入れ、通気しつつ、28℃に保った中に各区60尾ずつ放ち、18週間絶食生活をさせた。その間、6週ごとに各区から10尾採取して分析試料とした。

各時点で採取した10尾は、体重と体長〔吻端より脊椎骨の末端（体表から認めにくい点、一般には尾鰭の上下の基部をつらねた線の中央をとる）、或いは尾柄の最後端までの距離¹⁶⁾〕を測定後、5尾は魚体中のKとNa分析試料に、他の5尾は、ヘマトクリット測定後、鰓を摘出して、鰓中のKとNa分析試料とした。

ヘマトクリット測定の際の採血法は、尾鰭の基部から頭部に向かって7～10mmの部分の脊椎に対して直角に切断し、尾動脈から出血させて採血した¹⁷⁾。

餓死魚も同様の方法で分析した。また、餓死魚の1部は水分も分析した。

分析法：KとNaは実験Iに準じた。水分は、105～110℃常圧乾燥法¹⁸⁾でおこなった（以下、実験IVまで同様）。

結果

肥満度：肥満度の変化を図II-1に示す。

絶食により体重は減少するが、体長は変化しないと考え、魚体格を肥満度であらわした。

各区とも12週までは低下していったが、D区とE区は

表 I - 2

餓死魚出現日数, 体重 (g) および魚体中の K と Na 量 (μeq)

生存 日数	A				B				C			
	体重	K	Na	K/Na	体重	K	Na	K/Na	体重	K	Na	K/Na
80									5.748	61.5	504.1	0.12
80									7.725	28.8	256.5	0.11
81	6.187	74.2	521.6	0.14								
83									6.352	54.0	500.0	0.11
84									7.882	71.7	547.8	0.13
85	8.203	74.6	661.2	0.11					7.396	74.7	590.9	0.13
87									5.702	61.6	382.6	0.16
88	8.405	74.0	643.8	0.11								
91					7.846	82.4	652.0	0.13				
91					6.187	56.3	478.3	0.12				
93	7.187	52.5	510.3	0.10					8.253	71.8	730.4	0.10
93	6.349	74.3	500.3	0.15								
97	5.990	64.1	452.3	0.14								
101									7.823	54.8	632.9	0.09
104	6.805	74.2	565.5	0.13					7.663	23.0	173.9	0.13
105	8.286	82.0	700.1	0.12								
\bar{X}	7.177	71.2	569.4	0.13	7.017	69.4	565.2	0.13	7.172	55.8	479.9	0.12
S. D	1.000	9.0	88.9	0.02	1.173	18.5	122.8	0.01	0.972	18.5	179.3	0.02
n	8				2				9			

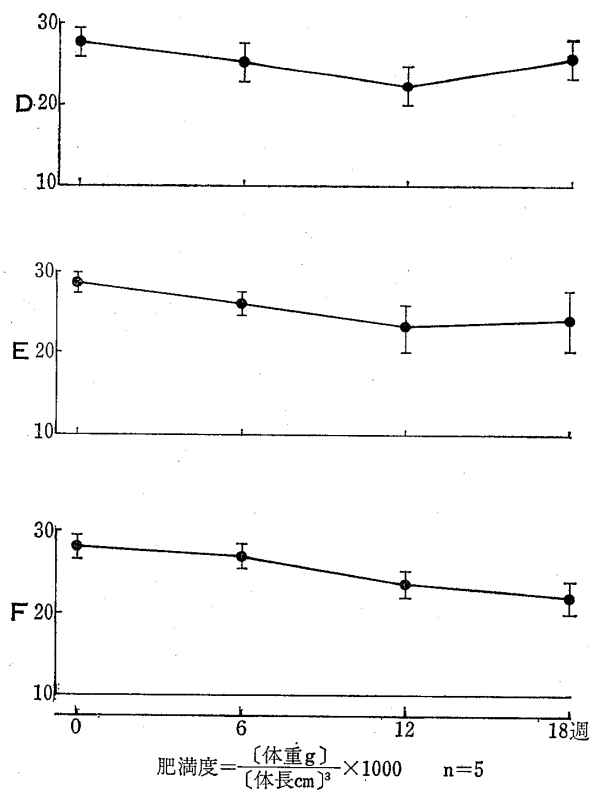


図 II-1 肥満度の変化

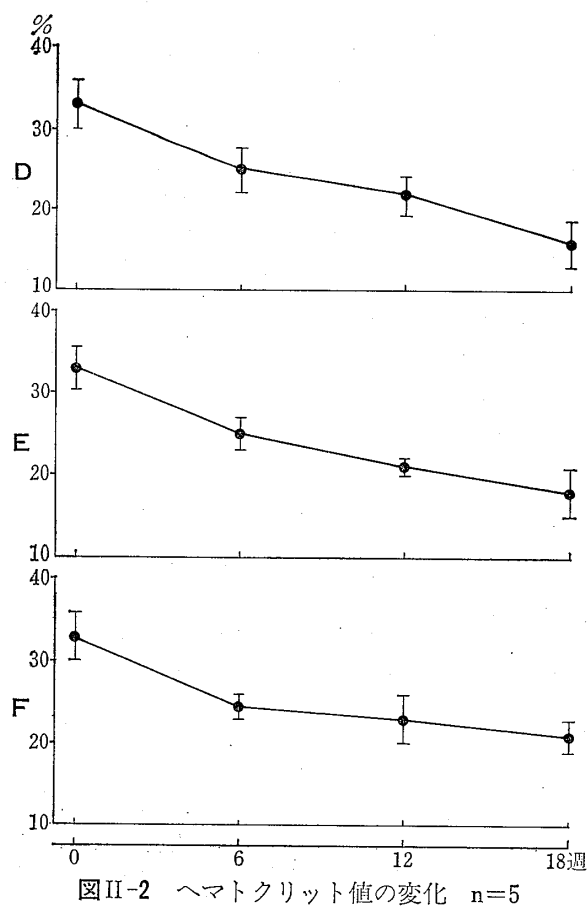
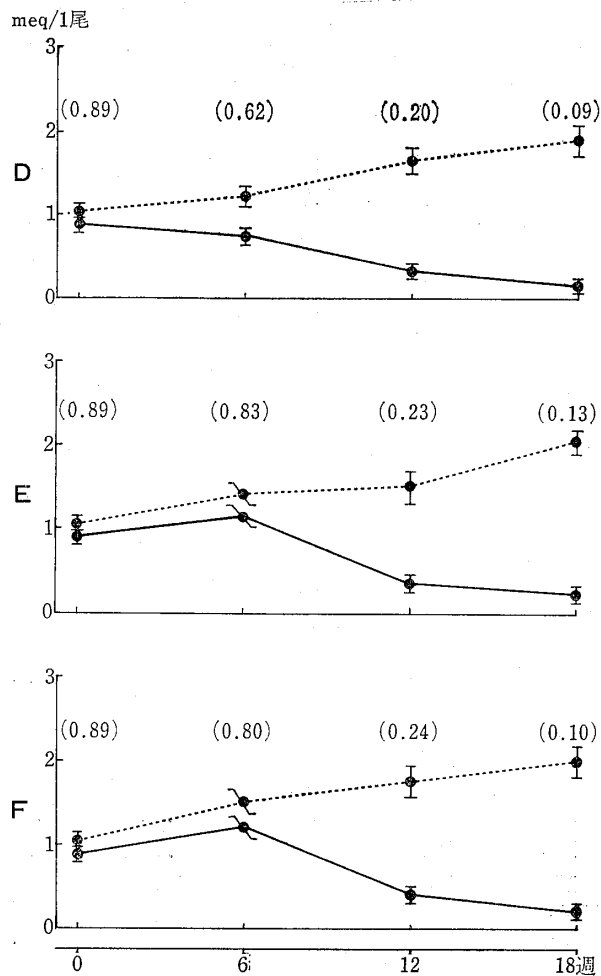
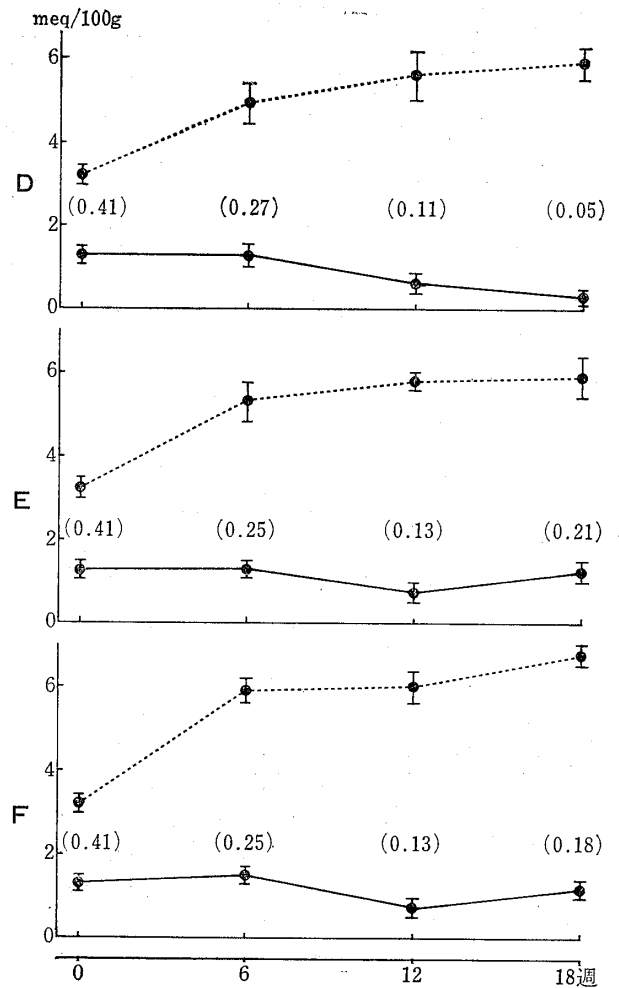


図 II-2 ヘマトクリット値の変化 n=5



図II-3 魚体中のKとNa量変化

—●—: K, - -●-: Na (): K/Na値 n=5



図II-4 鰓中のKとNa濃度変化

—●—: K, - -●-: Na (): K/Na値 n=5

その後やや上昇した。

ヘマトクリット値：ヘマトクリット値の変化を図II-2に示す。

各区とも6週までは急速に、その後は徐々に低下した。

KとNa量：生存魚体中のKとNa量変化を図II-3に示す。

環境水中のKとNa濃度にかかわらず、Kは減少し、Naは増加した。各区を比較すると、わずかに増減の差があり、K/Na値は、D区が最も低かった。

鰓中のKとNa濃度変化を図II-4に示す。

K濃度は魚体ほど大きな変化はなかったが、E区とF区は12週からやや上昇して18週では絶食開始時まで達した。

Na濃度は各区とも6週までは急速に、その後は徐々に上昇した。

K/Na値はD区がもっとも低かった。

餓死魚：餓死魚の扱いは、魚体中のKとNa分析用と、餓死直前と思われる魚体から選んでヘマトクリットおよび鰓中のKとNa分析用にした。

餓死魚体中の水分およびKとNa量を表II-1に示す。水分は89%前後で非常に高く、KとNa量は絶食末期の生存魚と同程度であった。

餓死魚のヘマトクリット値および鰓中のKとNa濃度を表II-2に示す。

ヘマトクリット値は絶食末期の生存魚よりも低く、鰓中のKとNa濃度は絶食12週の生存魚のレベルであった。

餓死魚の出現状況をみると、環境水中のK濃度の高い程出現尾数は少く、また、生存日数は長かった。

実験III

供試魚：体重 8.50～13.99 g のヤマトコイ（長野県、上田産、同腹）428尾を入手し、あらかじめ準備しておいたガラス水槽（90×45×45cm）3個にそれぞれ環境水

表II-1

餓死魚体中の水分(%)およびKとNa量(meq)

生存日数	水分	K	Na	K/Na
D				
78	89.6	0.18	0.65	0.28
78	89.2	0.03	0.35	0.09
78	89.8	0.15	0.81	0.19
79	90.1	0.17	1.04	0.16
79	89.9	0.25	1.13	0.22
79	90.2	0.19	1.17	0.16
90	90.1	0.19	2.00	0.10
93	90.4	0.15	1.93	0.08
104	90.7	0.13	2.00	0.07
107	89.8	0.12	1.54	0.08
110	90.5	0.13	1.93	0.07
110	89.8	0.14	1.89	0.07
\bar{X}	90.0	0.15	1.37	0.13
S.D	0.4	0.05	0.59	0.07
E				
88	90.4	0.12	1.39	0.09
96	90.4	0.11	1.72	0.06
99	89.0	0.10	1.35	0.07
101	89.8	0.11	1.65	0.07
103	89.5	0.11	1.65	0.07
104	88.5	0.12	1.54	0.08
105	89.1	0.11	1.65	0.07
110	89.3	0.11	1.37	0.08
110	88.8	0.14	1.65	0.08
115	89.5	0.12	1.46	0.08
\bar{X}	89.4	0.12	1.54	0.08
S.D	0.6	0.01	0.14	0.01
F				
104	89.8	0.15	1.46	0.10
106	89.6	0.13	1.27	0.08
109	89.4	0.17	1.80	0.09
110	88.8	0.14	1.48	0.09
111	88.6	0.14	1.72	0.08
114	90.5	0.14	1.65	0.08
114	89.5	0.15	1.65	0.09
118	89.5	0.17	4.09	0.04
118	89.0	0.13	2.52	0.05
124	90.1	0.23	2.04	0.11
\bar{X}	89.5	0.16	2.01	0.08
S.D	0.6	0.03	0.79	0.02

(水道水) 150l を入れ、通気しつつ26℃に保った中に、各水槽とも尾数と体重の合計がほぼ等しくなるようにして放した。

2日間放置後、1日当たり体重の4%の飼料(日本農産工業 K.K 製、コイ用4号)を3回に分けて日6間給餌

表II-2 餓死魚のヘマトクリット値(Ht%)および鰓中のKとNa濃度(meq/100g)

生存日数	Ht	K	Na	K/Na
D				
111	14.0	0.80	5.62	0.14
115	14.0	0.79	5.76	0.14
116	13.0	0.74	5.65	0.13
117	10.5	0.66	5.59	0.12
121	12.0	0.74	5.82	0.13
124	9.0	0.64	5.72	0.11
125	11.0	0.70	5.35	0.13
\bar{X}	11.9	0.72	5.64	0.13
S.D	1.9	0.06	0.15	0.01
E				
117	12.5	0.70	5.49	0.13
120	9.0	0.80	5.21	0.15
120	9.0	0.76	5.22	0.15
120	11.0	0.77	5.48	0.14
125	11.0	0.80	5.88	0.14
\bar{X}	10.5	0.77	5.46	0.14
S.D	1.5	0.04	0.27	0.01
F				
119	14.0	0.93	5.04	0.18
122	10.0	1.09	4.90	0.22
123	14.0	1.15	6.24	0.18
\bar{X}	12.7	1.06	5.39	0.19
S.D	2.3	0.11	0.72	0.02

し訓練した。

試験方法：訓練終了後、あらかじめ準備しておいたガラス水槽(60×30×36cm)9個に水道水54lずつ入れ、通気しつつ26℃を保ってある中に、各水槽とも20尾の体重がほぼ等しくなるように調整して放し、試験開始時とした。この時点で別に20尾を採取して試験開始時の分析試料とした。

9個の水槽の内、3個は絶食させる区(G区)、3個は1日当たり体重の1%を給餌する区(H区)および他の3個は同じく4%を給餌する区(I区)として15週間試験をおこなった。

この間、5週ごとに各区から1水槽中の魚体20尾を採取して経時的な分析試料とした。

尚、G区の15週目に採取する水槽中の尾数は、餓死魚の出現を予測して28尾にした。

給餌は、試験開始時ならびに採取時から18日ごとにH区とI区の魚体重を測定し、給餌量を補正した。

各時点で採取した魚体20尾の内、10尾は水分測定をした後、魚体中のKとNa分析用に、他の10尾は鰓を摘出して鰓中のKとNa濃度測定用にした。

餓死魚は体重測定後、水分および魚体中のKとNaを分析した。

分析法：水分およびKとNaは実験Ⅰ・Ⅱに準じた。

結果

体重：体重の変化を図Ⅲ-1に示す。

各区を比較すると、試験末期では、試験開始時のG区は0.4倍、H区は1.8倍、I区は10.8倍に達した。

水分：水分の変化を図Ⅲ-2に示す。

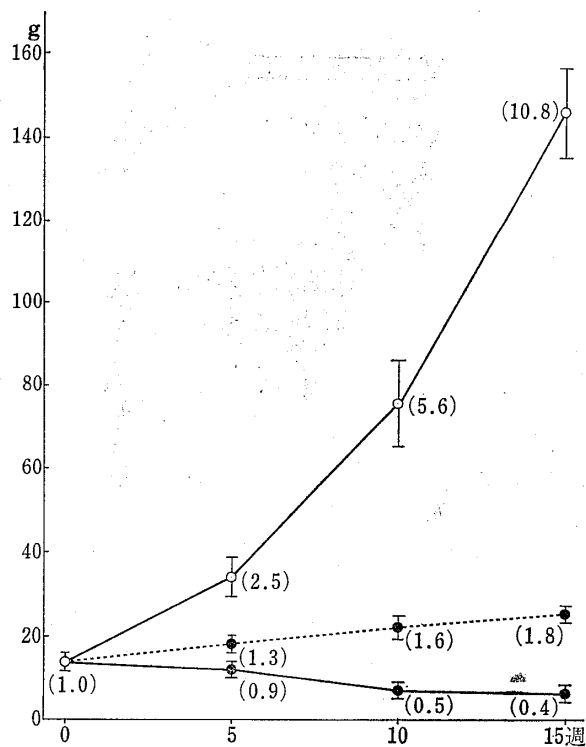
体重の減少にともなって上昇し、増加にともなって低下していった。したがって、試験末期では大差がみられた。

KとNa量：生存魚体中のKとNa量の変化を図Ⅲ-3に示す。

G区はK, Na量とも減少していったが、K量の方が減少量が多かった。

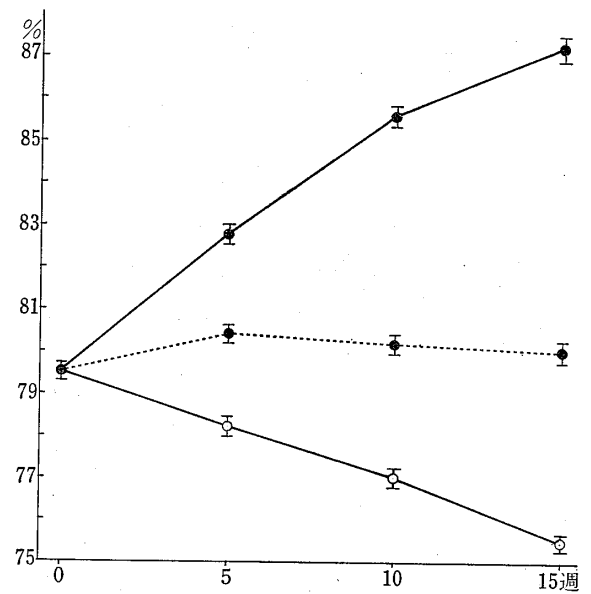
H区はK, Na量ともわずかに増加していった、試験末期にはK量はNa量に接近していった。

I区は5週目ですでに他区の最大量を越え、また、KとNaが同量になり、その後はK量の方が増加量が多く、



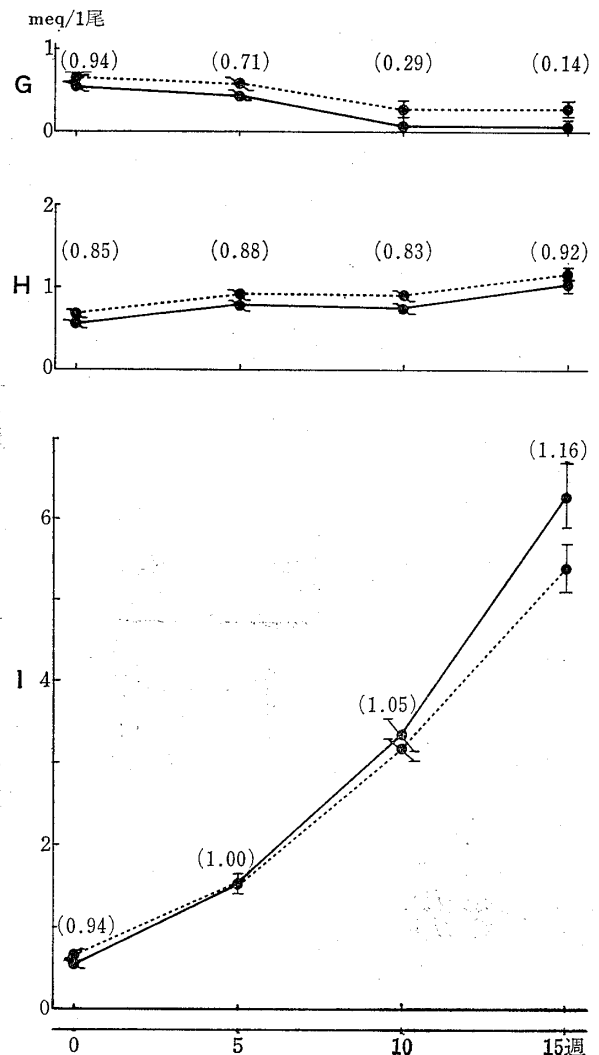
図Ⅲ-1 絶食と給餌による体重変化の比較

●：絶食魚(G区), ---●：1%, 給餌魚(H区),
○：4%, 給餌魚(I区) ()：倍数 n=10



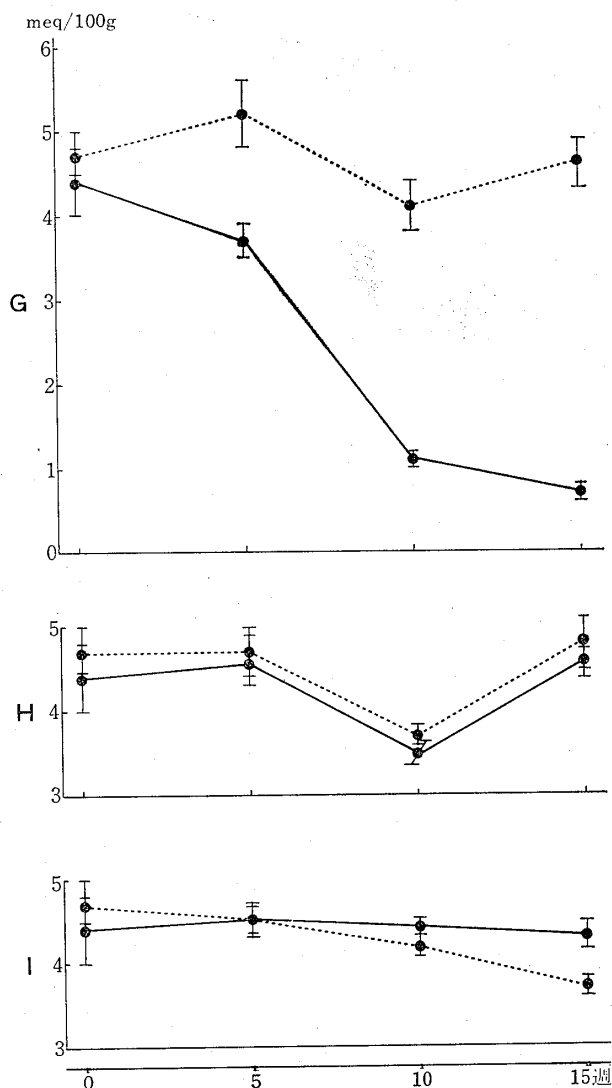
図Ⅲ-2 絶食と給餌による水分変化の比較

●：G区, ---●：H区, ○：I区 n=10

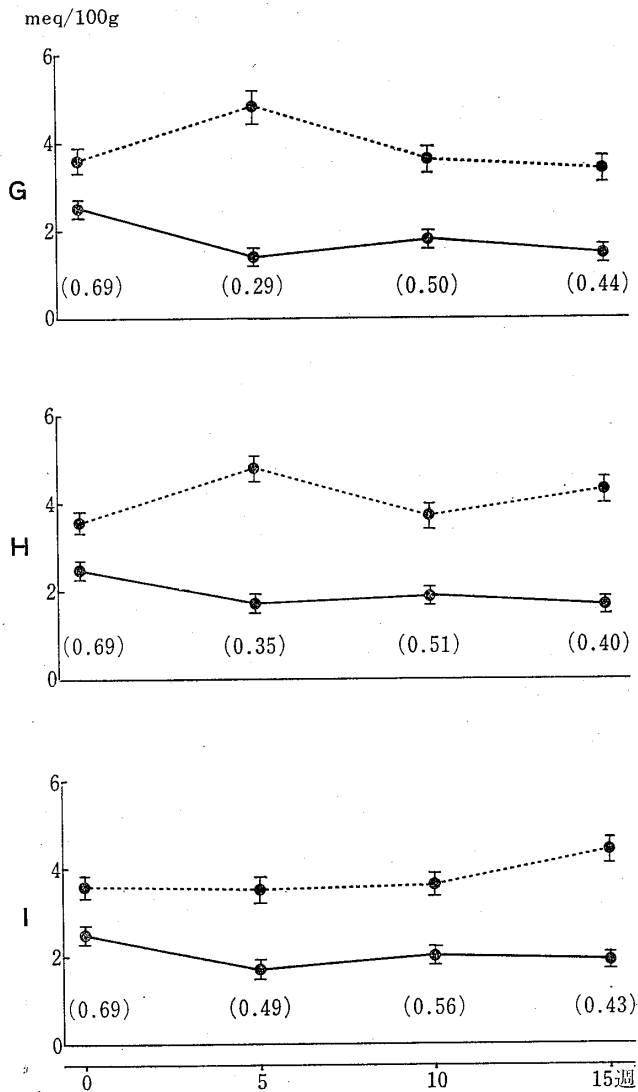


図Ⅲ-3 絶食と給餌による魚体中のKとNa量変化の比較

●：K, ---●：Na, ()：K/Na値 n=10



図Ⅲ-4 絶食と給餌による魚体中のKとNa濃度変化の比較
—●—: K, - -●-: Na n=10



図Ⅲ-5 絶食と給餌による鰓中のKとNa濃度変化の比較
—●—: K, - -●-: Na, (): K/Na値 n=10

表Ⅲ-1 餓死魚体 (G区) の体重, 水分および
KとNa量の平均値

体重 (g)	6.54±0.65
水分 (%)	86.04±1.37
K meq/1尾	0.05±0.01
K meq/100g	0.82±0.08
Na meq/1尾	0.26±0.02
Na meq/100g	3.96±0.38
K/Na meq/1尾	0.19±0.01
K/Na meq/100g	0.21±0.02

平均値±S.D, n=4

K>Na となった。

生存魚体中の K と Na 濃度変化を図Ⅲ-4 に示す。

G区は K と Na の濃度差が大きく, また, 変化も大きかった。

H区は Na>K であるが, K と Na 濃度は変化しつつ, ほぼ平行を保っていた。

I区はもつとも変化が少なく, 5週以後は Na 濃度が K 濃度より低下し, K<Na となった。

鰓中の K と Na 濃度を図Ⅲ-5 に示す。

各区とも終始 Na>K であるが, 絶食や摂餌量によってやや違いがみられた。

餓死魚: 餓死魚の出現は G 区の 4 尾であり, 試験開始時から 71 日に 2 尾, 72 日に 2 尾であった。

餓死魚の体重, 水分および魚体中の K と Na 量と濃度を 4 尾の平均値として表Ⅲ-1 に示す。

体重は試験開始時点の 1/2 以下になり, 水分は 86% と

高く、**K**量は極度に少なく、**Na**量は**G**区の試験末期時点と同程度であった。

実験Ⅳ

供試魚：体重 9.0～16.7g ヤマトコイ（農林水産省水産庁水産研究所上田支所で産卵，ふ化した同腹）347尾を入手し，実験Ⅲの要領で10日間訓練した。訓練期間中の給餌量は1日当り体重の3%を3回に分けて給餌（日本配合飼料 K.K 製，ニジマス用）した。

訓練期間終了後，あらかじめ準備しておいた，ガラス水槽（60×30×36cm）5個（**L**区，**M**区，**N**区，**O**区，**P**区用）にそれぞれ 54l の水道水を入れ，通気しつつ 26℃に保った中に各区とも総体重がほぼ等しくなるように調整して，**P**区は餓死魚の出現を予測して56尾，その他の区は48尾を入れ，試験開始時とした。この時点で別に12尾採用して試験開始時の分析試料とした。

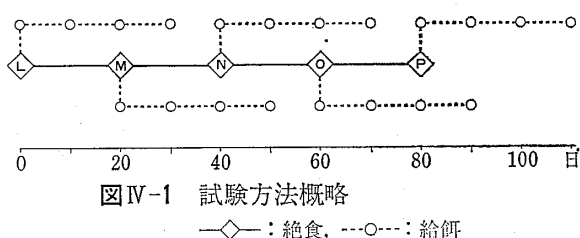
試験方法：**L**区（絶食0日）はそのまま30日間給餌（訓練期間と同様の給餌法，以下同様）し，10日ごとに12尾を採取した。

M，**N**，**O**，**P**区はそれぞれ20日，40日，60日，80日間の絶食後，12尾を採取し，各区の絶食終了後，**L**区と同様に30日間給餌し，その間10日ごとに12尾採取して分析試料とした。

試験方法の概略を図Ⅳ-1に示す。

各時点で採取した12尾は，体重を測定した後，6尾は魚体中の水分および **K** と **Na** 分析用に，他の6尾は鰓，胆のうおよび肝臓を摘出し，それら中の **K** と **Na** 分析試料にした。

分析法：水分および **K** と **Na** 分析は実験Ⅰ～Ⅲに準じた。



結果

体重：体重の変化を図Ⅳ-2に示す。

絶食により減少し，各時点における給餌によって増加したが，増加量は絶食時間が短い程多かった。しかし，給餌開始時点の体重を1.00とすると，給餌による増加率は絶食時間と関係がないように思われる。

水分：魚体の水分変化を図Ⅳ-3に示す。

絶食により上昇し，給餌により低下した。

各区の給餌最終採取時と比較すると，絶食期間の長い程高かったが，給餌開始前から低下する割合は高かった。

Kと**Na**量：魚体中の**K**と**Na**量変化を図Ⅳ-4に示す。

K量は，絶食の進行にともなって減少し，各時点の給餌により増加したが，給餌の最終採取時と比較すると，絶食時間の長さにともなって少なかった。

Na量は，絶食20日までは増加し，その後60日までは減少し，再び増加した。また，各時点の給餌により増加したが，絶食時間の長さにともなって増加量が少ない傾向がみられた。

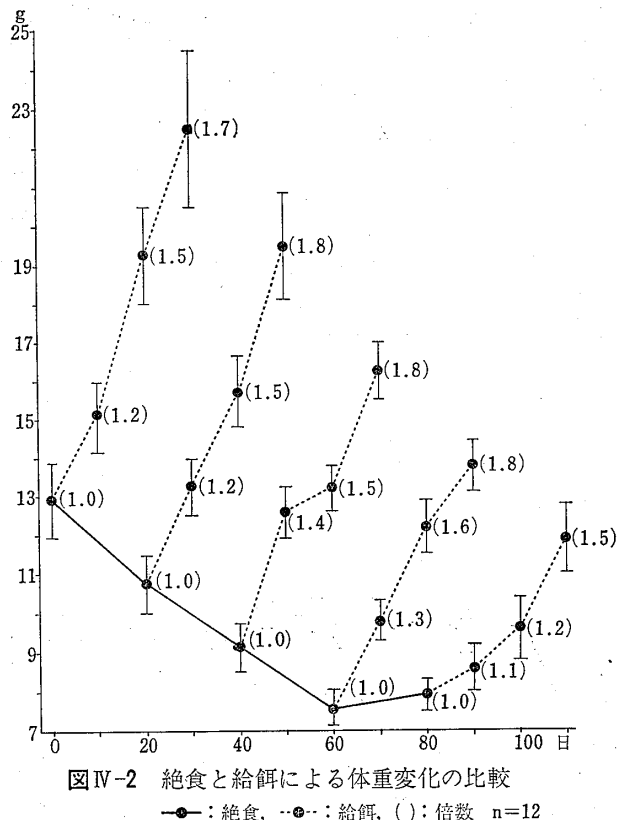
魚体中の**K/Na**値変化を図Ⅳ-5に示す。

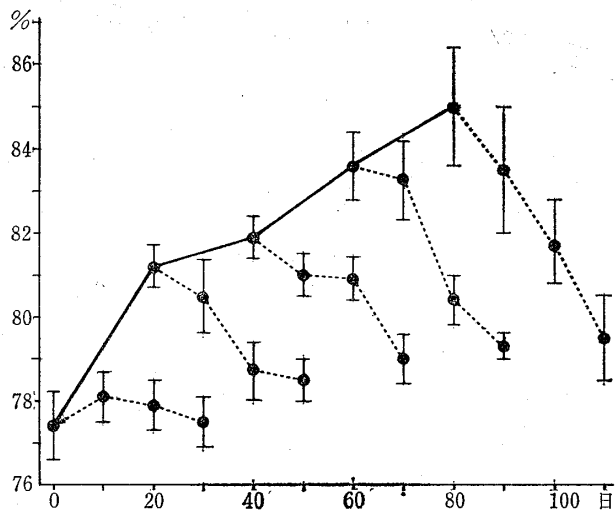
絶食の進行にともなって低下し，給餌によって上昇した。

絶食をさせないでそのまま給餌した**L**区はやや低下したが，1.0以上を保っていた。

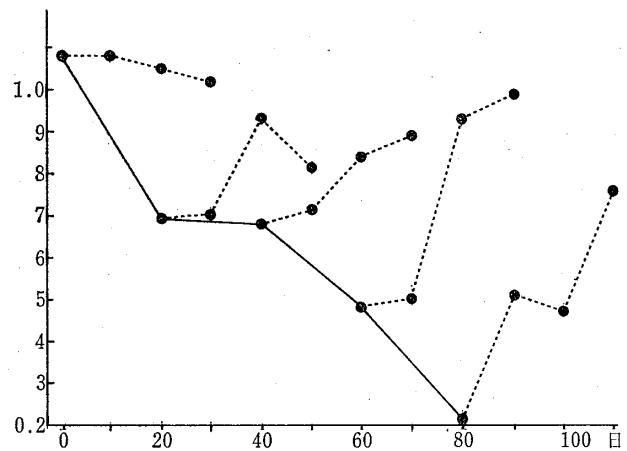
魚体中の**K**と**Na**濃度変化を図Ⅳ-6に示す。

絶食の進行にともない，**K**濃度は低下し，給餌により上昇した。**Na**濃度は**K**濃度と逆の現象を示した。

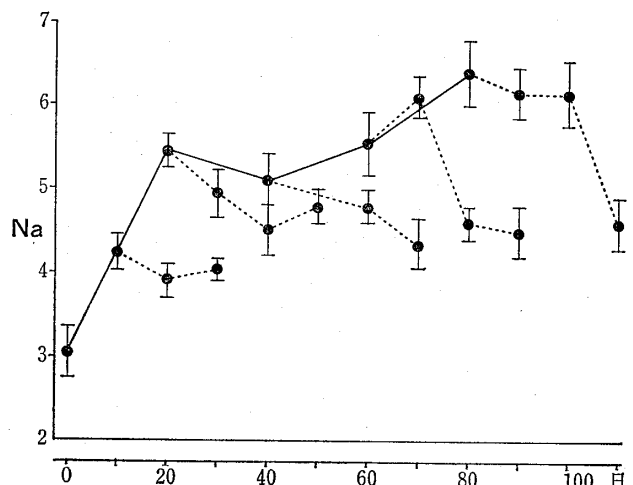
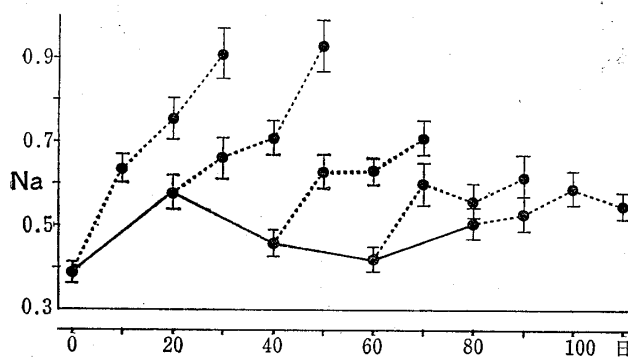
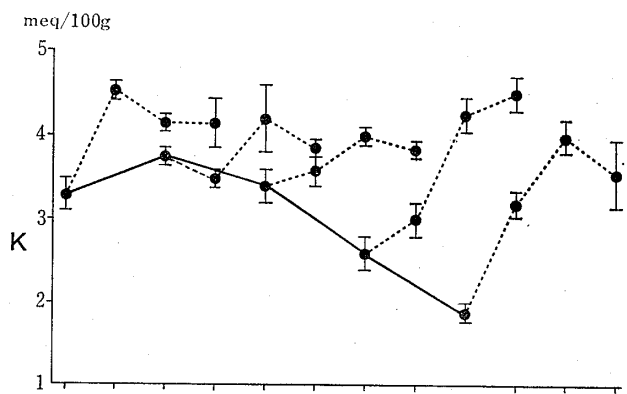
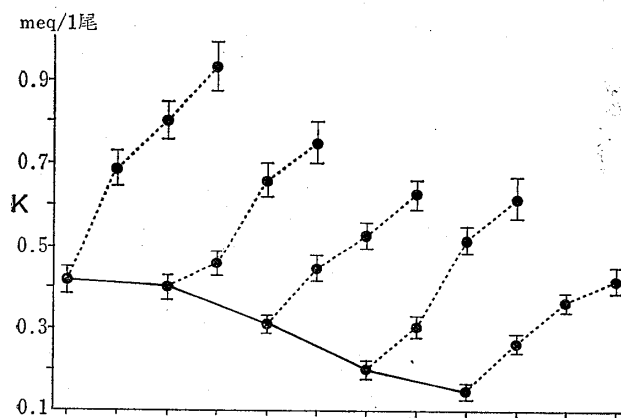




図IV-3 絶食と給餌による水分変化の比較
●：絶食，---●：給餌 n=6



図IV-5 絶食と給餌による魚体中のK/Na値変化の比較
●：絶食，---●：給餌 n=6



図IV-4 絶食と給餌による魚体中のKとNa量変化の比較
●：絶食，---●：給餌 n=6

図IV-6 絶食と給餌による魚体中のKとNa濃度変化の比較
●：絶食，---●：給餌 n=6

表Ⅳ-1 絶食と給餌による鰓中のKとNa濃度変化の比較 ———：絶食，-----：給餌

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110日
K(meq/100g)		2.83 ±0.21	2.36 ±0.06	2.53 ±0.18		2.37 ±0.20	2.66 ±0.16	2.37 ±0.11		1.82 ±0.14	1.91 ±0.10	1.52 ±0.12
	2.22 ±0.15		2.14 ±0.12		2.43 ±0.20		2.13 ±0.15		1.61 ±0.14			
Na(meq/100g)		4.14 ±0.29	3.77 ±0.19	3.70 ±0.13		4.72 ±0.27	4.80 ±0.38	4.41 ±0.23		4.84 ±0.33	5.00 ±0.16	4.78 ±0.17
	3.46 ±0.32		4.76 ±0.22		4.22 ±0.27		4.38 ±0.13		4.57 ±0.18			
K/Na		0.68 ±0.05	0.63 ±0.03	0.69 ±0.06		0.51 ±0.05	0.55 ±0.05	0.54 ±0.03		0.39 ±0.04	0.38 ±0.01	0.32 ±0.02
	0.64 ±0.04		0.45 ±0.04		0.58 ±0.05		0.49 ±0.04		0.35 ±0.05			

平均値±S.D n=6

Na 濃度の 0～10日は絶食魚と給餌魚が等濃度であった。

鰓中の K と Na 濃度変化を表Ⅳ-1に示す。

K, Na 濃度とも絶食や給餌による大きな変化はみられなかった。

胆汁(胆のう共)の重量と体重との割合および K と Na 濃度変化を表Ⅳ-2に示す。

重量は、絶食の進行にともない増加し、給餌によって減少した。

体重に対する割合は、絶食によって体重は減少し、胆汁重量は増加するので、絶食の進行にともなって非常に高くなった。

K 濃度は絶食の進行にともなって徐々に低下し、給餌によってわずかに上昇した。

Na 濃度は絶食 20日に上昇し、その後徐々に低下し、給餌によってわずかに上昇した。

K/Na 値は、絶食や給餌による大きな変化はみられなかった。

肝臓中の K と Na 濃度変化を表Ⅳ-3に示す。

K 濃度は絶食 20日に上昇し、その後徐々に低下したが、給餌によって上昇した。

Na 濃度は、絶食の進行にともなって上昇し、給餌によって低下する傾向がみられた。

K/Na 値は、絶食の進行にともなって低下し、給餌によって上昇した。

餓死魚：実験Ⅳにおいては、餓死魚の出現はなかった。

考 察

成長に関して、魚類が他の動物と異なる点の一つに、魚類は発生以来、一生を通じて成長しつづける機能をもっていることである¹⁹⁾。

成長を支配する要因に餌の質と量が考えられる。

浜井生三^{20),21)}によると、コイを 10.5ヶ月間飼育した場合、給餌量を一般に給餌する場合の半量にすると、成長がほとんど認められず、さらに 4.5ヶ月間絶食生活をさせると、体幅が減少し、絶食の影響は尾部の幅や高さにもっとも出現しやすく、また、給餌量を充分にした魚体は、体長が成長適期と、その年間の成長率との間に高い相間性を示し(+0.96)、給餌量の半分の魚体もおおよそ同様の傾向にあり(+0.73)、絶食生活の魚体では、両者

表IV-2 絶食と給餌による胆汁(胆のう共)の重量およびKとNa濃度変化の比較 ———: 絶食, - - - - -: 給餌

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110日
重量 (mg)		42 ± 3 (2.8)	52 ± 4 (2.7)	58 ± 4 (2.6)		48 ± 3 (3.8)	59 ± 3 (4.5)	47 ± 3 (2.9)		28 ± 2 (3.2)	39 ± 3 (4.0)	30 ± 2 (2.3)
(): 体重に對する割合 (%)	29 ± 2 (2.3)		34 ± 3 (3.2)		38 ± 3 (4.2)		55 ± 4 (7.3)		71 ± 6 (8.9)			
				31 ± 2 (2.3)	60 ± 4 (3.8)	59 ± 4 (3.0)		35 ± 3 (3.5)	42 ± 3 (4.0)	46 ± 3 (3.3)		
K (meq/100g)	1.16 ± 0.10	1.41 ± 0.09	1.28 ± 0.09	1.33 ± 0.18		1.14 ± 0.08	1.14 ± 0.09	1.15 ± 0.11		1.04 ± 0.07	1.09 ± 0.09	1.30 ± 0.12
					1.29 ± 0.11	1.11 ± 0.09	0.95 ± 0.07		1.29 ± 0.09	1.03 ± 0.08	1.02 ± 0.06	
Na (meq/100g)	10.80 ± 1.00	19.14 ± 1.20	16.69 ± 0.40	14.23 ± 0.46		16.69 ± 0.82	16.94 ± 0.94	16.93 ± 1.12		13.70 ± 1.28	15.00 ± 1.05	12.67 ± 1.08
			16.54 ± 1.34		15.06 ± 1.17		13.99 ± 1.22		12.90 ± 0.81			
				15.11 ± 1.04	16.38 ± 0.76	17.93 ± 0.43		16.48 ± 0.86	14.73 ± 0.48	16.15 ± 1.49		
K/Na	0.11	0.07	0.08	0.09		0.07	0.07	0.07		0.08	0.07	0.10
					0.09	0.07	0.05		0.08	0.07	0.06	

平均値 ± S.D. n = 6

の相関係数は低い(+0.33)。さらに体高については、充分に給餌した魚体では(+0.73)と高い相関性を示すが、給餌半量の魚体では(-0.42)、絶食生活の魚体では(-0.38)の相関性を示すことを認めている。

本実験 I において、3種の飼料給餌の結果、B区(K/Na=1.8)がもっともよく成長し、餓死魚の出現尾数をもっとも少なかったことについては、飼料3種の内、魚体中のK/Na値にもっとも近い飼料であったことが原因であると考え²²⁾。

B区の飼料はマツカラム混合塩 No. 185 を配合している。マツカラム混合塩 No. 185 の配合については、コイおよびニジマスの飼料に同塩を適量配合すると、成長、へい死率、奇形の発生率、血液性状および魚体の化学組成など、魚体にとって好ましい結果が認められている^{23), 24), 25)}。

また、環境水温と成長の関係は、環境水温が変化すれば魚体の代謝の反応速度も変わるので、成長に影響をおよぼす。

一般に、魚類の成長は、ある温度以下ではほとんど温度と無関係であるが、それ以上になると、一定温度までは成長がよくなり、さらに一定温度を越えると成長は止まり、魚体は衰弱し、死に至る²⁶⁾。

コイの成長に適当と思われる環境水温は23~28℃で、摂餌率は1.8~5.9%であり、この温度の範囲では、魚体の小さいほど、また、環境水温の高い程、摂餌率は高くなる²⁷⁾。

絶食と成長については、2年生のコイを飼育し、1ヶ月間絶食生活させたら、体重の約17%が減少し、その後給餌したら、体重は急激に増加し、その影響は3ヶ月間も続いたことや、3年生と2年生のコイを飼育して、種

表IV-3 絶食と給餌による肝臓中のKとNa濃度変化の比較 ———：絶食，-----：給餌

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110日
K(meq/100g)	2.65 ±0.19	5.09 ±0.47	3.54 ±0.16	3.48 ±0.21	3.07 ±0.14	3.28 ±0.12	3.85 ±0.24	3.74 ±0.15	2.05 ±0.10	3.83 ±0.29	3.66 ±0.26	3.41 ±0.12
			3.40 ±0.24				2.94 ±0.27					
				3.60 ±0.27	2.85 ±0.13	3.46 ±0.19		3.70 ±0.14	3.06 ±0.14	3.41 ±0.25		
Na(meq/100g)	1.56 ±0.14	3.09 ±0.21	2.11 ±0.14	2.10 ±0.19	2.75 ±0.23	2.39 ±0.11	2.68 ±0.21	2.77 ±0.10	3.65 ±0.26	3.12 ±0.26	3.33 ±0.22	2.63 ±0.20
			2.96 ±0.24				3.06 ±0.25					
				2.37 ±0.22	2.08 ±0.11	2.62 ±0.17		3.54 ±0.24	2.54 ±0.11	2.85 ±0.26		
K/Na	1.70 ±0.13	1.65 ±0.12	1.68 ±0.10	1.66 ±0.16	1.12 ±0.10	1.37 ±0.11	1.44 ±0.13	1.35 ±0.06	0.56 ±0.04	1.23 ±0.12	1.10 ±0.08	1.30 ±0.09
			1.15 ±0.10				0.96 ±0.06					
				1.52 ±0.14	1.37 ±0.11	1.32 ±0.06		1.05 ±0.09	1.20 ±0.05	1.20 ±0.10		

平均値±S.D n=6

々の期間の絶食試験をおこなった結果、10日間絶食させた後、給餌した魚体がもっとも成長がよいことなどが認められている²⁶⁾。

魚体中のKとNaに関して、魚類の皮膚は、水、イオンに対してはほとんど透過させないが、鰓呼吸の際の鰓は非常によく透過させる。

一般に淡水魚では、主に鰓と腎臓で魚体中の浸透圧濃度を調節している。

これらの浸透圧濃度調節器官の機能は、常に神経内分泌系の支配下にあつて、魚体中の水およびイオンの平衡が保たれている。

イオンの吸収と排出に関しては、1価イオンの吸収と排出は主に鰓でおこない、2価イオンの調節(吸収、排出および再利用)は主に腸と腎臓でおこなわれている^{27,32)}。

K, Naの吸収と排出について内分泌との関係を見ると、無機質コルチコイド mineralo-corticoid の一種であるアルドステロン aldosterone (11-deoxycorticosterone, 17-oxy-11-deoxycorticosterone) の欠乏により、Naの排出量が増加し、血中のNa量が減少し、K量は増加するが、無機質コルチコイドを給与すると回復する。

ヤツメウナギによる実験では、アルドステロン生合成

の抑制剤であるSC-11927を与えると、Naの排出が起ることが認められている²⁹⁾。

また、魚類の脳下垂体を除去すると、淡水魚では、血液中のNaが減少するため死亡し、血中Na量は、24時間で25%減少するが、プロラクチン prolactin を給与すると、血中Na量は正常にもどることが報告されている³⁰⁾。

脳下垂体のホルモンが浸透圧濃度の維持に重要な役割をもっていることは認められているが、脳下垂体に関係するホルモンの中で、プロラクチンのみがこれに対応することが解明された^{31), 32), 33), 34)}。

絶食生活の血液におよぼす影響は、血清カルシウムが減少し、血清たんぱく窒素が一時的に増加する。これらの結果から、栄養素の不足が血中の糖や、たんぱく質その他の成分に反映し、また、造血機能が低下して、ヘマトクリット値が低下し、ヘモグロビン量が減少する。また、赤血球沈降速度は上昇、血清たんぱく質が減少することが認められている^{35), 36), 37), 38)}。

以上のことから考えると、本実験においては、絶食によってアルドステロンなどNa吸収に関するホルモンが増加してNa量は増加し、K量は減少するが、一方、K量の減少は、ヘマトクリット値の低下状態からみて、飢餓により、体たんぱく質の消費や血球の減少によって、

体液の濃度は低くなり、細胞内液のKは、窒素の排出とともに排出される。また、他方、プロラクチン分泌細胞 Prolactin cell が増殖して Na を多量に吸収し、K と Na が交換することが推測される。

一般に、生体膜における K と Na の透過については、K と Na の存在により活性化される $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-activated ATPase}$ が触媒することが知られており、魚体中のイオン平衡の機構を解明する要素の一つである^{39), 40), 41), 42), 43)}。

電解質の吸収と排出には、上記のように諸種のホルモンが関係しているが、鰓からのイオン吸収の内、特に Na^+ と Cl^- の吸収については、 Na^+ と Cl^- がそれぞれ独立した機構でおこなわれ、 Cl^- は NH_4Cl あるいは KCl から単独に吸収されるが、その場合は Cl^- と交換に HCO_3^- が排出され、また Na^+ の吸収量が当量の Cl^- 吸収量とともなわない場合には、その差は鰓からの NH_4^+ の排出によって調節できる機構になっている⁴⁴⁾。

本実験で示した、絶食によって魚体中の K 濃度が低下し、Na 濃度が上昇する現象の解明に当っては、絶食による内分泌腺やホルモンの変化、それにもなって、鰓のイオン吸収能の変化および $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-activated ATPase}$ をはじめ、酵素類の変化などを追究しなければならない。

要 約

魚類を種々の条件下で絶食生活させたら、魚体中の K と Na 量がどのように変化するかを知るため、ヤマトコイを験体として実験 I ～ IV をおこなった。

実験 I：飼料中の K/Na 値が 0.6、1.8 および 3.7 の 3 種の飼料で給餌飼育した後、105 日間絶食させた結果

I-1. 成長は K/Na=1.8 の飼料で飼育した魚体をもっともよかった。

I-2. 絶食の進行にともない、いずれの魚体中の Na 濃度は上昇し、K 度は低下した。

I-3. 絶食による餓死魚数は、K/Na=1.8 の飼料で飼育したグループがもっとも少なかった。

I-4. 餓死魚体中の K 濃度は非常に低く、Na 濃度は非常に高かった。

実験 II：市販の飼料で給餌飼育した後、K/Na=0.07 (水道水)、1.0 (水道水に KCl) および 10.0 (水道水に KCl) の 3 種の環境水中で 18 週間絶食させた結果

II-1. 絶食の進行にともない肥満度は低下した。

II-2. 絶食の進行にともない Ht 値は低下した。

II-3. 絶食の進行にともない魚体中の K 濃度は低下

し、Na 濃度は上昇したが、各環境水中の K/Na 値の大きな影響は認められなかった。

II-4. 鰓中の K 濃度は大きな変化がないが、Na 濃度は上昇した。

II-5. 餓死魚の水分は 89% に達した。

II-6. 餓死魚体中の K と Na 濃度は、絶食生活 18 週目の生存魚と同レベルであった。

実験 III：市販の飼料で給餌飼育した後、絶食区、1% 給餌区 (1 日当たり体重の 1% を給餌) および 4% 給餌区 (同、4% 給餌) に分け、15 週間実験をした結果、

III-1. 体重は、15 週目で実験開始時の、絶食区が 0.5 倍、1% 給餌区が 1.8 倍、4% 給餌区が 10.8 倍であった。

III-2. 水分は、絶食の進行にともなって上昇し、給餌量によって低下した。

III-3. 魚体中の K 濃度は、絶食の進行にともなって低下し、給餌量によって上昇度がちがった。Na 濃度は、絶食の進行にともなって上昇し、給餌量によって低下度がちがった。

III-4. 鰓中の K と Na 濃度は大きな変化はみられなかったが、絶食や給餌量によってややちがいがみられた。

III-5. 餓死魚は、絶食区の 4 尾で、体重、水分および K と Na 濃度は実験 I、II の餓死魚と大差がなかった。

実験 IV：市販の飼料で給餌飼育した後、80 日間絶食させ、その期間、20 日ごとに 1 部の魚体に給餌した結果

IV-1. 魚体の水分は絶食の進行にともなって上昇し、給餌によって低下した。

IV-2. 魚体中の K 濃度は、絶食の進行にともなって低下し、給餌によって上昇した。Na 濃度は、絶食の進行にともなって上昇し、給餌によって低下した。

IV-3. 鰓中の K と Na 濃度は、絶食や給餌による大きな変化はみられなかった。

IV-4. 胆汁量は、絶食の進行にともなって増加し、給餌によって減少した。K と Na 濃度は、絶食の進行にともなってわずかに低下し、給餌によって上昇した。

IV-5. 肝臓中の K 濃度は、絶食の進行にともなってわずかに低下し、給餌によって上昇した。Na 濃度は、絶食の進行にともなってわずかに上昇し、給餌によって低下する傾向がみられた。

本研究をおこなうに当たり、試料のヤマトコイを提供して下さり、魚体の扱い法などをご指導下さった、農林水産省、水産庁、東海区水産研究所の竹内昌昭氏に謝意を表します。また、魚類学のご指導をたまわり、多大な文献を下さった、元本学教授の故・東 秀雄先生に深く感謝をしております。

文 献

- 1) Fromm, P.O.: *Comp. Biochem. Physiol.*, 27, 865~869 (1968)
- 2) Smith, H.W.: *J. Biol. Chem.*, 81, 727 ~ 742 (1929)
- 3) Smith, H.W.: *Am. J. Physiol.*, 93, 480~505 (1930)
- 4) Schiffman, R.H.: *Biol. Bull.*, 120, 110~117 (1961)
- 5) Schiffman, R.H.: *J. Cell. Comp. Physiol.*, 65, 1~6 (1969)
- 6) Krogh, A.: *Z. Vergleich. Physiol.*, 24, 656~666 (1937)
- 7) Love, R.M.: *J. Sci. Fd. Agric.*, 9, 617 ~ 620 (1958)
- 8) Love, R.M., Robertson, I. and Strachan, I.: *J. Sci. Fd. Agric.*, 19, 415~422 (1968)
- 9) Niimi, A.J.: *Can. J. Zool.*, 50, 815~819 (1972)
- 10) Mustafa, S.: *Japan. J. Ichthyol.*, 29, 4, 416~420 (1982)
- 11) 舟木行雄: 駒沢女子短期大学研究紀要, 10, 17~20 (1976)
- 12) 舟木行雄: 駒沢女子短期大学研究紀要, 11, 51~53 (1977)
- 13) 舟木行雄: 駒沢女子短期大学研究紀要, 15, 25~29 (1981)
- 14) McCollum, E.V., Simmonds, N. and Pitz, W.: *J. Biol. Chem.*, 27, 33 (1916)
- 15) 渡辺篤二ら: 食品分析法, 日本食品工学会, 食品分析法編集委員会編, 光琳, 239~246 (1982)
- 16) 末広恭雄: 魚類学, 岩波書店, 39 (1969)
- 17) Itazawa, Y.: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 23(2) 71~80 (1957)
- 18) 渡辺篤二ら: 食品分析法, 日本食品工学会, 食品分析法編集委員会編, 光琳, 3~8 (1982)
- 19) 落合 明: 魚類生理, 川本信之編, 恒星社, 205 (1970)
- 20) Hamai, I.: *Sci. Rep. Tōhoku Imp. Univ.*, Ser. 4(Biol), 16(1), 17~89 (1941)
- 21) Hamai, I.: *Sci. Rep. Tōhoku Univ.*, Ser. 4 (Biol), 33, 475~485 (1967)
- 22) Bowen, H.J.M.: *Trace Elements in Biochemistry*, Acad. Press, London and New York, 70~71 (1966)
- 23) Ogino, C. and Kamizono, M.: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 41, 429~434 (1975)
- 24) 村上恭祥: 魚病研究, 2(1)1 (1967)
- 25) 村上恭祥: 広島県淡水魚指導所調査研究報告, 9, 9 (1970)
- 26) 落合 明: 魚類生理, 川本信之編, 恒星社, 219 (1970)
- 27) 中村中六, 千葉健治: 養魚学各論, 恒星社, 35~36 (1976)
- 28) 末広恭雄: 魚類学, 岩波書店, 98 (1969)
- 29) 日比谷 京: 魚類生理, 川本信之編, 恒星社 187~188 (1970)
- 30) Ball, J.N. and Ensor, D.M.: *Gen. Comp. Endocrinol.*, 8, 432~440 (1967)
- 31) Pickford, G.E.: *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.* 14, 5~41 (1953)
- 32) Burden, C.E.: *Biol. Bull.*, 110, 8~28 (1956)
- 33) Pickford, G.E. and Phillips, J.G.: *Science*, 130, 454~455 (1959)
- 34) Pickford, G.E., Robertson, E.E. and Sawyer, W.H.: *Gen. Comp. Endocrinol.*, 5, 160~180 (1965)
- 35) Sano, T.: *J. Tokyo U. Fish.*, 43(1), 75~79 (1957)
- 36) Sano, T.: *J. Tokyo U. Fish.*, 48(1), 105~109 (1962 b)
- 37) Murachi, S.: *J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima U.* 2(2), 241~247 (1959)
- 38) Sano, T.: *J. Tokyo U. Fish.*, 48(1), 99~104 (1962 a)
- 39) Bellamy, D.: *Comp. Biochem. Physiol.*, 3, 125~135 (1961)
- 40) Nakao, T., Tashima, Y., Nagano, K. and Nakao, M.: *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 19, 755~758 (1965)
- 41) Utida, S., Hirano, T., Oide, M., Kamiya, M., Saishu, S. and Oide, H.: *Proc. Pacif. Sci. Congr. XI, Tokyo 7. 5, August* (1966)
- 42) Kamiya, M.: *Annot. Zool. Japan.*, 40, 123~129 (1967)
- 43) Kamiya, M. and Utida, S.: *Comp. Biochem. Physiol.*, 26, 675~685 (1968)
- 44) Krogh, A.: *Cambridge Univ. Press, London*, 240 (1939)